



# AUTOSTRADA REGIONALE CISPADANA DAL CASELLO DI REGGIOLO-ROLO SULLA A22 AL CASELLO DI FERRARA SUD SULLA A13

CODICE C.U.P. E81B08000060009

## PROGETTO DEFINITIVO

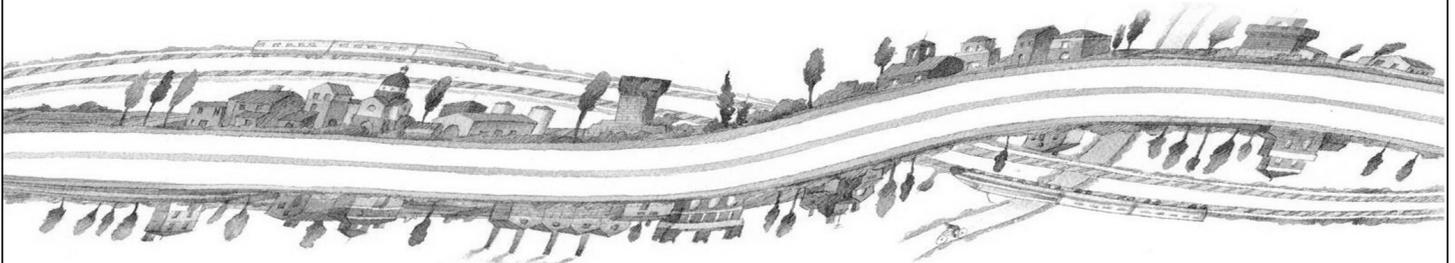
### ASSE AUTOSTRADALE (COMPRESIVO DEGLI INTERVENTI LOCALI DI COLLEGAMENTO VIARIO AL SISTEMA AUTOSTRADALE)

GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA, SISMICA E GEOTECNICA

GEOTECNICA

INTERCONNESSIONE A22

RELAZIONE GEOTECNICA GALLERIA SOTTO A22



IL PROGETTISTA

Ing. Gianfranco Marchi  
Albo Ing. Ravenna n°342

RESPONSABILE INTEGRAZIONE  
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Emilio Salsi  
Albo Ing. Reggio Emilia n° 945



IL CONCESSIONARIO

Autostrada Regionale  
Cispadana S.p.A.  
IL PRESIDENTE  
Graziano Pattuzzi

G										
F										
E										
D										
C										
B										
A	17.04.2012	EMISSIONE				A. Boschi	G. Marchi	E. Salsi		
REV.	DATA	DESCRIZIONE				REDAZIONE	CONTROLLO	APPROVAZIONE		
IDENTIFICAZIONE ELABORATO										DATA: MAGGIO 2012
NUM. PROGR.	FASE	LOTTO	GRUPPO	CODICE OPERA WBS	TRATTO OPERA	AMBITO	TIPO ELABORATO	PROGRESSIVO	REV.	SCALA: _
0411	PD	0	I01	IGA01	0	GT	RB	01	A	



## INDICE

<b>1. PREMESSA</b> .....	<b>2</b>
<b>2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>3</b>
2.1. NORMATIVE .....	3
2.2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	3
<b>3. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA</b> .....	<b>4</b>
<b>4. CAPACITÀ PORTANTE DEL DIAFRAMMA SINGOLO SOGGETTO A CARICHI ASSIALI</b> .....	<b>7</b>
<b>5. COMPORTAMENTO DEI DIAFRAMMI IN ESERCIZIO</b> .....	<b>11</b>
5.1. CEDIMENTO DEL DIAFRAMMA SINGOLO SOGGETTO A CARICHI ASSIALI .....	11
5.2. RIGIDENZE ASSIALI E TRASVERSALI.....	11

## 1. PREMESSA

---

Nell'ambito delle attività di progettazione previste per la redazione del Progetto Definitivo di Autostrada Regionale Cispadana dal casello di Reggiolo-Rolo su A22 al casello di Ferrara Sud su A13, il presente documento illustra gli aspetti geotecnici inerenti l'opera IGA01 – Galleria sotto A22.

Per ulteriori chiarimenti in merito ai criteri generali adottati per l'esecuzione delle verifiche geotecniche si rimanda al documento PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_RB\_02 “Criteri generali per le verifiche geotecniche”.

Nel seguito dell'elaborato verranno descritte ed approfondite le seguenti tematiche con particolare riferimento all'opera in oggetto:

- normativa di riferimento per le verifiche geotecniche;
- caratterizzazione geotecnica;
- capacità portante del palo singolo soggetto a carichi assiali;
- capacità portante del palo singolo soggetto a carichi trasversali;
- andamento delle sollecitazioni lungo il palo singolo soggetto a carichi trasversali;
- capacità portante dei pali in gruppo soggetti a carichi assiali;
- capacità portante dei pali in gruppo soggetti a carichi trasversali;
- andamento delle sollecitazioni nei pali in gruppo soggetto a carichi trasversali;
- comportamento dei pali in esercizio.

## **2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

---

### **2.1. NORMATIVE**

---

Le normative di riferimento sono riportate nell'elaborato:

- PD\_0\_000\_00000\_0\_GE\_KT\_01, "Elenco delle Normative di riferimento".

### **2.2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

---

- AGI, "Raccomandazioni sui pali di fondazione", dicembre 1984;
- Associazione Geotecnica Italiana (2005) "Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica", Patron Editore, Bologna;
- FRANK R., "Calcul des fondations superficielles et profondes", Techniques de l'Ingénieur (TI), Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées ;
- JOSEPH E. BOWLES (1992) – "Fondazioni – Progetto e analisi", McGraw-Hill, Giugno 1992;
- LANCELLOTTA R. (1993) – "Geotecnica", Seconda edizione, ed. Zanichelli, Bologna;
- VIGGIANI C. – Fondazioni – Hevelius Edizioni;
- POULOS H.G., DAVIS E.H. – Analisi e progettazione di fondazioni su pali – Libreria Dario Flaccovio Editrice;
- POULOS H.G., DAVIS E.H. (1974) – "Elastic solutions for soil and rock mechanics", ed. John Wiley & Sons, Inc. ;
- U.S. Departement of Trasportation, Federal Highway Administration – "Drilled shafts: Construction procedures and design methods" – Publication No. FHWA-IF-99-025.

### 3. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Di seguito si riporta la scheda di caratterizzazione geotecnica per l'opera in oggetto.

<b>OPERA:</b>	<b>GALLERIA SOTTO A22</b>
---------------	---------------------------

<b>Q<sub>rif</sub> = 18.00 m s.l.m.</b>
---

**TABELLA 3-1: INDAGINI GEOGNOSTICHE DI RIFERIMENTO PER STRATIGRAFIA E CARATTERIZZAZIONE**

sigla indagine	campagna di indagine	quota p.c. (m s.l.m.)	lunghezza (m)	strumentazione installata
PPS1	Intergeo - 2009	-	30.00	-
BH3	Geoservice - 2011	17.180	30.50	C(20)
CPTU19	Geoservice - 2011	17.806	31.35	-

C (...) = cella piezometrica Casagrande (quota cella);  
 TA (...) = piezometro a tubo aperto (tratto filtrante).

**TABELLA 3-2: UNITÀ LITOSTRATIGRAFICHE INDIVIDUATE LUNGO IL TRACCIATO**

Unità	Descrizione
R/V	Terreno di riporto e terreno vegetale
1	Argilla limosa/Limo argilloso
2	Sabbia limosa/Limo sabbioso
3	Sabbia con $D_r < 50\%$
4	Sabbia con $50\% < D_r < 70\%$
5	Sabbia con $D_r > 70\%$
6	Torba/Argilla organica

TABELLA 3-3: CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICO – GEOTECNICA

Profondità (m da p.c.) ( $Q_{ref}$ 18.00 m s.l.m.)	Unità -	$z_w$ (m)	$\gamma_n$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\varphi' (*)$ (°)	$c' (*)$ (kPa)	$c_u (*)$ (kPa)	$E'$ (kPa)	$M$ (kPa)
0.0÷1.5	2	0.5	19.0	28	0	-	25000	-
1.5÷10.5	1		18.8	18-22	0-4	30-40	2972-4141	4000-5573
10.5÷20.0	4		19.0	31	0	-	30000	-
Da 20.0	5		19.5	31	0	-	55000	-

$Q_{ref}$  = quota assoluta inizio caratterizzazione (m s.l.m.);  
 $z_w$  = profondità falda di progetto;  
 $\gamma_n$  = peso di volume naturale (kN/m<sup>3</sup>);  
(\*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:  
• valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;  
• valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.  
 $\varphi'$  = valore dell'angolo di resistenza al taglio (°);  
 $c'$  = valore della coesione efficace (kPa);  
 $c_u$  = valore della coesione non drenata (kPa);  
 $E'$  = modulo di Young (kPa);  
 $M$  = valore del modulo edometrico.

Per quanto concerne il materiale costituente il rilevato esistente, in mancanza di prove specifiche è possibile assumere  $\gamma=19.5$  kN/m<sup>3</sup>,  $\varphi'=38^\circ$  e  $c'=0$  kPa.

Per il calcolo delle spinte del terreno si può fare riferimento ad una caratterizzazione geotecnica semplificata rappresentata da un terreno mono-strato caratterizzato dai seguenti parametri geotecnici:

- angolo di attrito interno del terreno  $\varphi'=23.0^\circ$ .
- coesione drenata  $c'=0$  kPa.
- peso specifico del terreno saturo d'acqua  $\gamma_{sat}=18.50$  [kN/m<sup>3</sup>].

La scelta dei parametri geotecnici sopra riportati è giustificata e cautelativa in quanto il valore dell'angolo di attrito interno, che interviene sia nelle verifiche geotecniche che nel calcolo delle spinte sui paramenti, deriva

da una media pesata dei valori relativi alle unità 2 ( $\phi'=28^\circ$ ) e unità 1 ( $c'=2$  kPa,  $\phi'=20^\circ$  che, per lo stato tensionale relativo alle profondità in esame, possono essere ritenuti equivalenti a  $c'=0$  kPa,  $\phi'=22^\circ$ );

Con riferimento ai primi 30.0 m da piano campagna, la categoria di sottosuolo che è possibile assumere per le elaborazioni è **C**.

Al fine di valutare i fattori di correlazione  $\xi$  per la determinazione della resistenza caratteristica si considerano, quali verticali indagate, le prove indicate in Tabella 3-1.

## **4. CAPACITÀ PORTANTE DEL DIAFRAMMA SINGOLO SOGGETTO A CARICHI ASSIALI**

---

Nel seguito si riportano i calcoli di capacità portante del singolo palo di fondazione soggetto a carichi assiali di compressione e di trazione, con riferimento a diaframmi di spessore  $s=1000\text{mm}$ .

Il calcolo viene condotto secondo i seguenti approcci con riferimento al DM 14/01/2008 Par.6.4.3:

- Approccio 1: combinazioni A1+M1+R1 e A2+M1+R2;
- Approccio 2: combinazione A1+M1+R3;

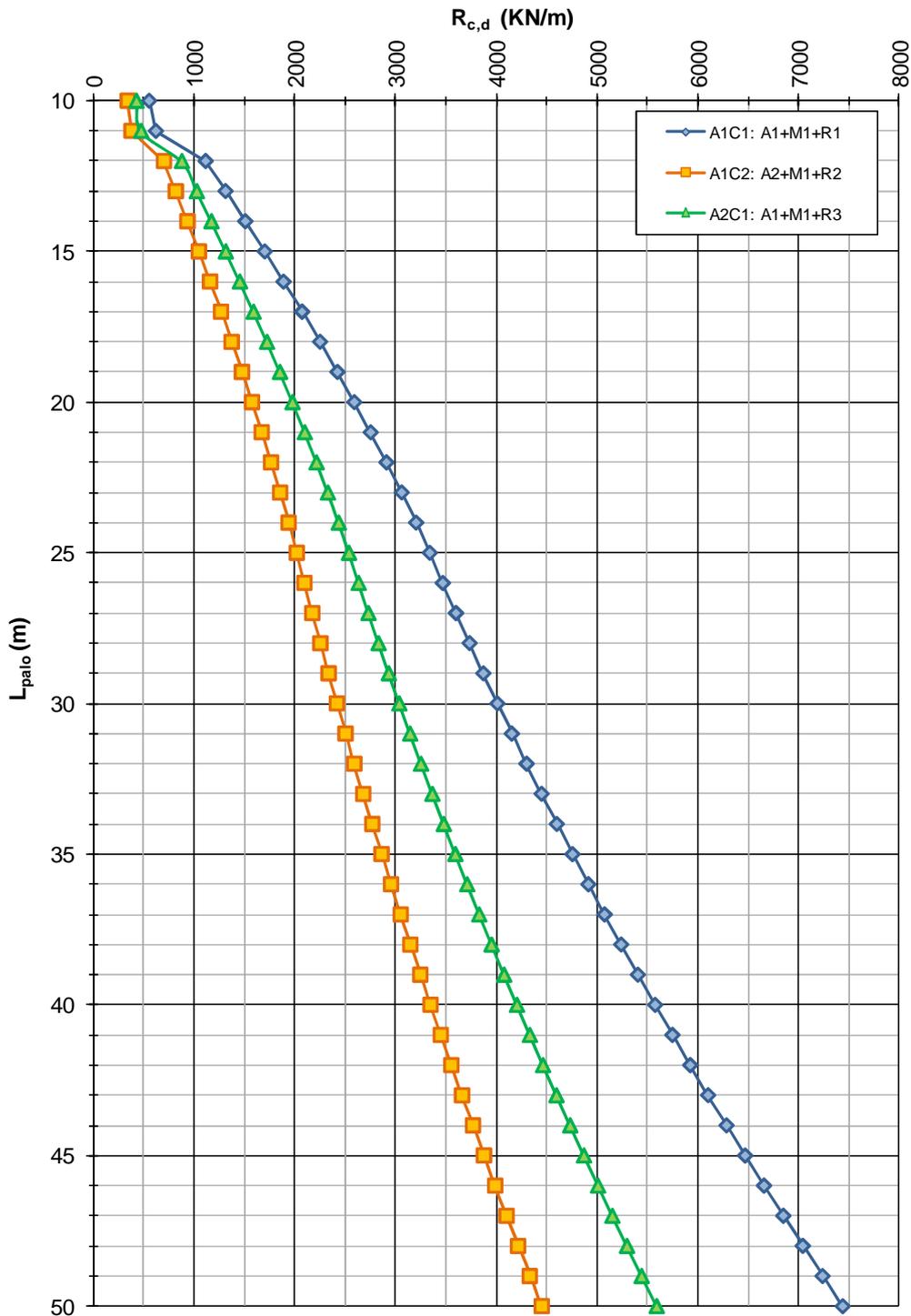
e con riferimento alla seguente bibliografia:

- AGI – Raccomandazioni sui pali di fondazione (1984);
- Poulos, Davis – Analisi e progettazione di fondazioni su pali.

I grafici sottostanti riportano le resistenze di progetto dei pali in compressione ed in trazione in funzione della lunghezza degli stessi, i calcoli sono stati svolti considerando la testa del palo alla quota di riferimento.

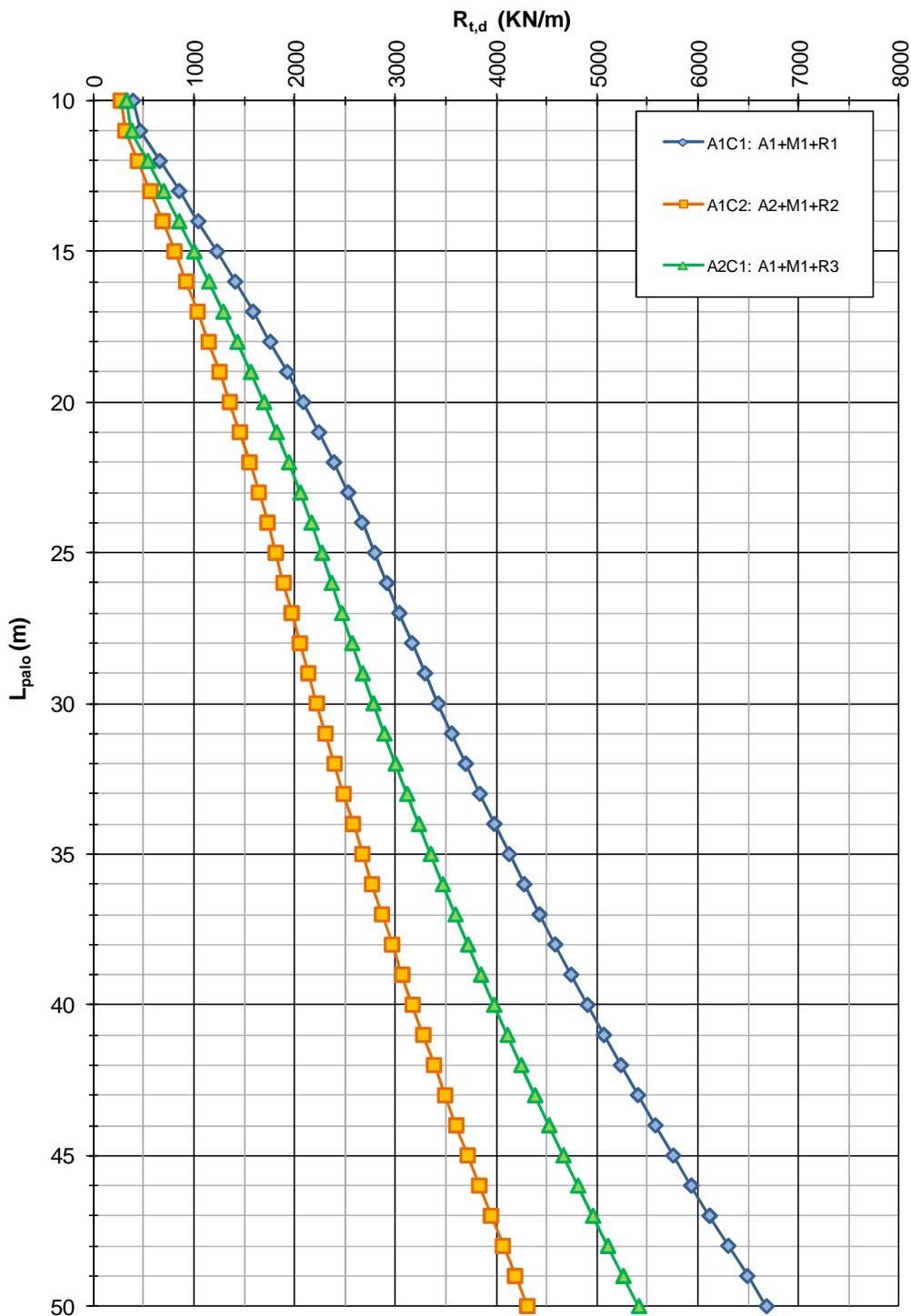
A seguire si riportano i tabulati di derivazione dei grafici stessi.

**IGA01 - Galleria sotto A22 - ZO2**  
**NTC del 14/01/2008**  
**Capacità portante a compressione - Diaframmi s=1000mm**



**FIGURA 4-1: CAPACITÀ PORTANTE A COMPRESSIONE – DIAFRAMMI S 1000**

**IGA01 - Galleria sotto A22 - ZO2**  
**NTC del 14/01/2008**  
**Capacità portante a trazione - Diaframmi s=1000mm**



**FIGURA 4-2: CAPACITÀ PORTANTE A TRAZIONE – DIAFRAMMI S 1000**

**Diaframmi s 1000**

Profondità [m]	Capacità Portante di Progetto a Compressione $R_{c,d}$ [kN/m]			Capacità Portante di Progetto a Trazione $R_{t,d}$ [kN/m]			Rigidezza assiale $K_{vv}$ [kN/m/m]
	A1C1: A1+M1+R1	A1C2: A2+M1+R2	A2C1: A1+M1+R3	A1C1: A1+M1+R1	A1C2: A2+M1+R2	A2C1: A1+M1+R3	
1.00	437.36	300.90	379.12	7.00	7.00	7.00	0.00
2.00	177.36	120.87	151.85	14.00	14.00	14.00	0.00
3.00	180.01	121.97	152.97	21.00	21.00	21.00	0.00
4.00	182.66	123.08	154.09	28.00	28.00	28.00	0.00
5.00	233.32	152.42	190.77	83.01	65.01	73.41	7681.50
6.00	286.46	183.22	229.28	140.49	103.56	120.80	15759.00
7.00	374.19	237.63	297.56	200.45	143.66	170.16	24232.50
8.00	432.28	271.35	339.74	262.89	185.30	221.51	33102.00
9.00	492.83	306.51	383.76	327.80	228.50	274.84	42367.50
10.00	555.87	343.14	429.60	395.18	273.24	330.15	52029.00
11.00	621.38	381.22	477.28	465.04	319.53	387.43	62086.50
12.00	1114.83	701.79	881.03	659.54	443.71	544.43	92086.50
13.00	1313.69	819.33	1028.79	852.61	567.01	700.29	121857.88
14.00	1509.25	934.97	1174.14	1042.18	688.11	853.35	151069.24
15.00	1701.11	1048.44	1316.77	1227.88	806.80	1003.31	179661.29
16.00	1888.87	1159.50	1456.37	1409.34	922.84	1149.87	207574.89
17.00	2072.12	1267.94	1592.65	1586.19	1036.00	1292.76	234751.17
18.00	2250.49	1373.51	1725.33	1758.07	1146.05	1431.66	261131.65
19.00	2423.61	1475.99	1854.13	1924.61	1252.76	1566.29	286658.33
20.00	2591.09	1575.17	1978.76	2085.46	1355.91	1696.37	311273.74
21.00	2754.04	1671.82	2100.21	2240.37	1455.36	1821.70	334939.82
22.00	2910.83	1764.86	2217.11	2389.09	1550.93	1942.08	357615.13
23.00	3061.10	1854.06	2329.18	2531.24	1642.40	2057.19	379238.80
24.00	3204.45	1939.19	2436.13	2666.44	1729.53	2166.75	399750.69
25.00	3340.51	2020.04	2537.68	2794.32	1812.08	2270.46	419091.44
26.00	3468.91	2096.39	2633.56	2914.52	1889.82	2368.01	437202.41
27.00	3599.96	2174.30	2731.42	3037.34	1969.21	2467.67	455734.91
28.00	3734.01	2253.98	2831.49	3163.14	2050.46	2569.71	474742.41
29.00	3871.05	2335.41	2933.78	3291.91	2133.57	2674.12	494224.91
30.00	4011.07	2418.60	3038.28	3423.64	2218.53	2780.91	514182.41
31.00	4154.07	2503.55	3145.00	3558.34	2305.34	2890.07	534614.91
32.00	4300.06	2590.26	3253.92	3696.02	2394.01	3001.61	555522.41
33.00	4449.03	2678.72	3365.06	3836.66	2484.53	3115.52	576904.91
34.00	4600.98	2768.93	3478.40	3980.27	2576.92	3231.81	598762.41
35.00	4755.91	2860.90	3593.96	4126.84	2671.15	3350.47	621094.91
36.00	4913.82	2954.62	3711.72	4276.39	2767.24	3471.51	643902.41
37.00	5074.70	3050.09	3831.68	4428.91	2865.19	3594.92	667184.91
38.00	5238.57	3147.32	3953.86	4584.39	2964.99	3720.71	690942.41
39.00	5405.40	3246.29	4078.24	4742.84	3066.65	3848.87	715174.91
40.00	5575.22	3347.02	4204.82	4904.27	3170.17	3979.41	739882.41
41.00	5748.01	3449.50	4333.61	5068.66	3275.53	4112.32	765064.91
42.00	5923.77	3553.73	4464.60	5236.02	3382.76	4247.61	790722.41
43.00	6102.51	3659.71	4597.80	5406.34	3491.84	4385.27	816854.91
44.00	6284.22	3767.44	4733.20	5579.64	3602.78	4525.31	843462.41
45.00	6468.91	3876.92	4870.80	5755.91	3715.57	4667.72	870544.91
46.00	6656.57	3988.14	5010.61	5935.14	3830.21	4812.51	898102.41
47.00	6847.20	4101.12	5152.62	6117.34	3946.71	4959.67	926134.91
48.00	7040.81	4215.85	5296.83	6302.52	4065.07	5109.21	954642.41
49.00	7237.39	4332.32	5443.25	6490.66	4185.28	5261.12	983624.91
50.00	7436.94	4450.55	5591.87	6681.77	4307.35	5415.41	1013082.41

## 5. COMPORTAMENTO DEI DIAFRAMMI IN ESERCIZIO

---

### 5.1. CEDIMENTO DEL DIAFRAMMA SINGOLO SOGGETTO A CARICHI ASSIALI

---

Per quanto riguarda i presumibili cedimenti dei pali per i carichi di esercizio si osserva quanto segue:

- i carichi di esercizio sono in genere inferiori alla capacità portante limite laterale;
- la mobilitazione dell'adesione laterale limite avviene per spostamenti relativi dell'ordine di 5÷10 mm (vedi Raccomandazioni AGI);

pertanto è lecito attendersi cedimenti dei pali singoli sotto il massimo carico di esercizio dell'ordine di  $\delta = 5\div 6$  mm.

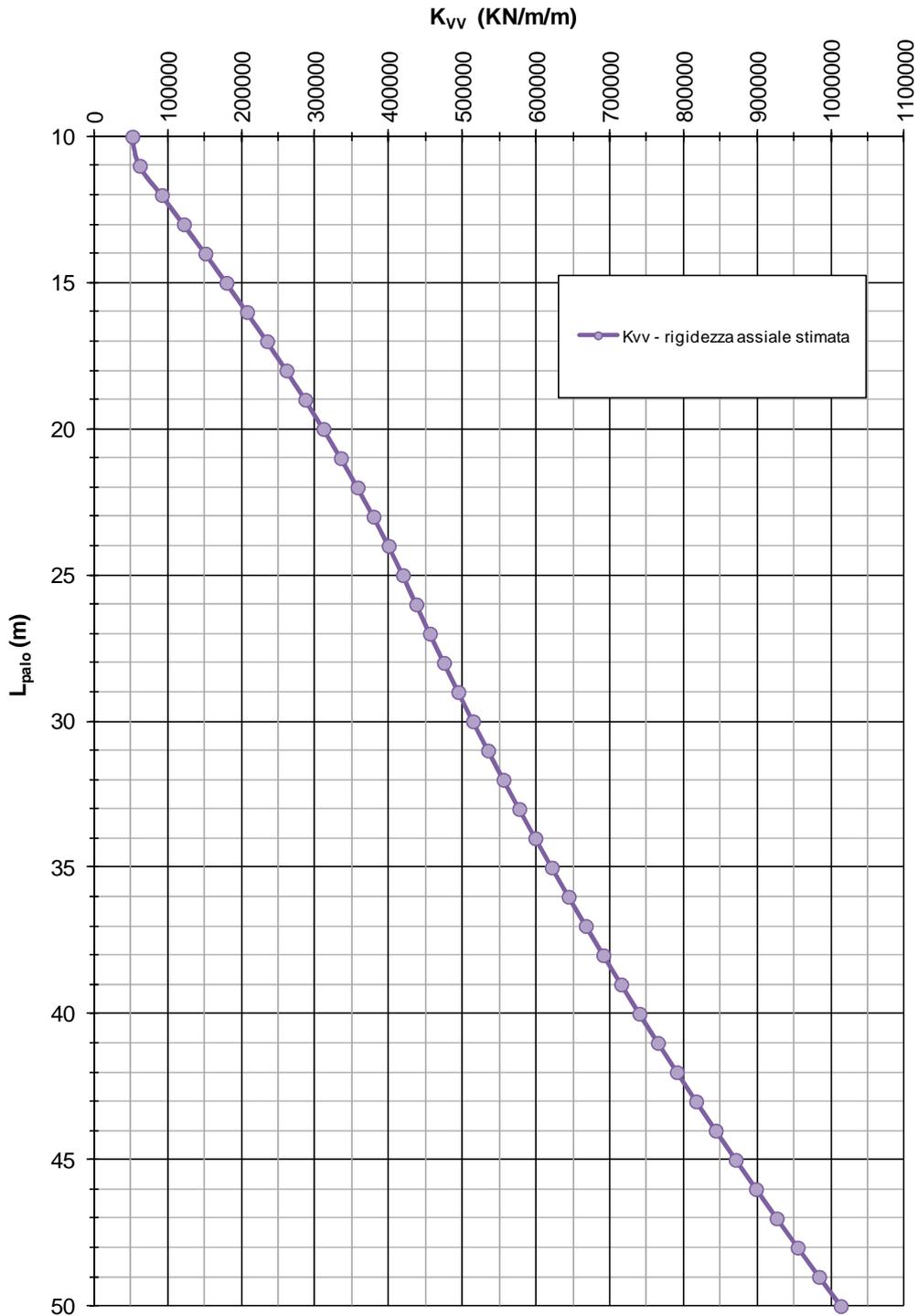
### 5.2. RIGIDENZE ASSIALI E TRASVERSALI

---

Alla luce delle considerazioni espresse al § 5.1, la rigidità del palo in direzione verticale viene stimata ipotizzando che la portata limite laterale venga mobilitata per uno spostamento di 10 mm.

I grafici a seguire riportano i valori di rigidità verticale dei pali al variare della lunghezza degli stessi. I tabulati di derivazione dei grafici sono stati riportati precedentemente al § 4 congiuntamente ai tabulati di capacità portante verticale.

**IGA01 - Galleria sotto A22 - ZO2**  
**NTC del 14/01/2008**  
**Rigidezza assiale - Diaframmi s=1000mm**



**FIGURA 5-1: RIGIDEZZA VERTICALE – DIAFRAMMI S 1000**

Di seguito inoltre si riportano i valori della costante di Winkler utilizzabile per il calcolo della sollecitazione. Per i diaframmi si utilizza la formulazione di Jambu.

Diaframmi – Terreni coesivi (per metro lineare di pannello)

<b><i>Costante di reazione</i></b>					
$K_{winkler} =$	504	kN/m <sup>3</sup>	a profondità	2.00	m
$K_{winkler} =$	2 268	kN/m <sup>3</sup>	a profondità	9.00	m
$K_{winkler} =$	6 300	kN/m <sup>3</sup>	a profondità	25.00	m

Diaframmi – Terreni incoerenti (per metro lineare di pannello)

<b><i>Costante di reazione</i></b>					
$K_{winkler} =$	7 316	kN/m <sup>3</sup>	a profondità	2.00	m
$K_{winkler} =$	15 520	kN/m <sup>3</sup>	a profondità	9.00	m
$K_{winkler} =$	25 866	kN/m <sup>3</sup>	a profondità	25.00	m